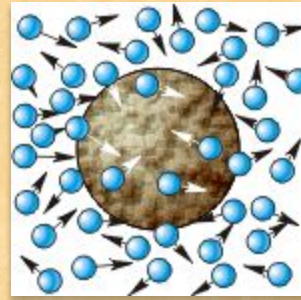


«Тепловое движение атомов и молекул. Диффузия. Модели строения газа, жидкости, твердого тела.

Абсолютная температура. Связь абсолютной температуры со средней кинетической энергией частиц вещества.

Связь давления идеального газа с средней кинетической энергией молекул»



*Выполнила
Студентка факультета
МФиИ
Гр150791
Коровина Н.В.*

К содержанию

Содержание

- [Теория](#)
- [Практические задания](#) Практические задания [\(word\)](#)
- [Задачи для самостоятельного решения](#)
- [Тесты](#)
- [Справочные данные](#)
- [Историческая справка](#)

Тепловое движение атомов и молекул. Диффузия. Модели строения газа, жидкости и твердого тела.

Тепловое движение молекул

Тепловое движение — процесс хаотического (беспорядочного) движения частиц, образующих вещество. Неверно смешивать понятия «Тепловое движение» и «Броуновское движение». Броуновским называется движение видимых взвешенных в веществе частиц; тепловым — движение частиц самого вещества. Тепловое движение является причиной броуновского движения. Чаще всего рассматривается тепловое движение атомов и молекул. Хаотичность — важнейшая черта теплового движения. Важнейшими доказательствами существования движения молекул, является броуновское движение и диффузия.

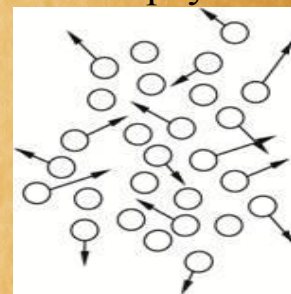
Броуновское движение это тепловое движение взвешенных в жидкости (или газе) частиц. Впервые наблюдал это явление [Броун в 1827 году](#).

Броуновское движение тепловое движение, и оно не может прекратиться.

С увеличением температуры интенсивность его растет. Броуновские частицы

обычно не тонут и не всплывают, а находятся в среде во взвешенном состоянии. Причина броуновского движения частицы заключается в том, что удары молекул жидкости о частицу не компенсируют друг друга.

Молекулярно-кинетическая теория броуновского движения была создана в 1905 [А. Эйнштейном](#). Молекулярно-кинетическая теория броуновского движения была создана в 1905 А. Эйнштейном. Построением теории броуновского движения и ее экспериментальным подтверждением занимался [французский физик Перрен](#).

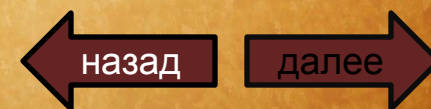
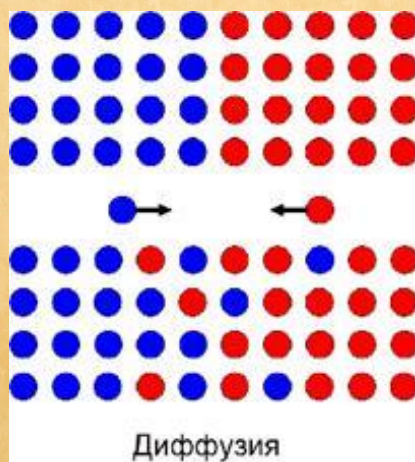


далее

Диффузия (лат. diffusio — распространение, растекание, рассеивание) — процесс взаимного проникновения молекул одного вещества между молекулами другого, приводящий к самопроизвольному выравниванию их концентраций по всему занимаемому объёму.

Это явление можно объяснить беспорядочным движением молекул и проникновением молекул одного вещества в пространство между молекулами другого вещества. Этим можно объяснить, например, тот факт, что объем смеси воды и спирта меньше объема составляющих ее компонентов. Но самое очевидное доказательство движения молекул можно получить, наблюдая в микроскоп мельчайшие, взвешенные в воде частицы какого-либо твердого вещества.

Диффузия наблюдается во всех состояниях вещества — в газах, жидкостях и твёрдых телах. Примером диффузии в газах служит распространение запахов в воздухе при отсутствии прямого перемешивания. Диффузия в твёрдых телах обеспечивает соединение металлов при сварке, пайке, хромировании и т.п. В газах и жидкостях диффузия происходит намного быстрее, чем в твёрдых телах.



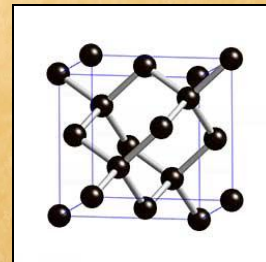
Модель строения газов, жидкостей и твердых тел

Газы. В газах расстояние между атомами или молекулами в среднем во много раз больше размеров самих молекул (размер молекулы 10^{-10}). Газы легко сжимаются, при этом уменьшается среднее расстояние между молекулами, но форма молекулы не изменяется. Слабые силы притяжения молекул газа не способны удерживать их друг возле друга. Газы могут неограниченно расширяться. Они не сохраняют ни формы, ни объема. Движение молекул газа является хаотическим. Многочисленные удары молекул о стенки сосуда создают давление газа.

Жидкости. Молекулы жидкости расположены почти вплотную друг к другу. Молекула колеблется около своего положения равновесия, сталкиваясь с соседними молекулами. Молекулы жидкости находятся непосредственно друг возле друга. При уменьшении объема, силы отталкивания становятся очень велики. Этим и объясняется малая сжимаемость жидкостей. Как известно жидкости текучи, т. е. не сохраняют своей формы

Твердые тела. Атомы или молекулы твердых тел колеблются около определенных положений равновесия. По этой причине твердые тела сохраняют не только объем, но и форму. Потенциальная энергия взаимодействия молекул твердого тела существенно больше их кинетической энергии.

Твердое тело можно сравнить со стройной когортой индивидуумов, которые хотя и не стоят по стойке смирно, но выдерживают между собой в среднем определенные интервалы. Если соединить центры положений равновесия атомов или ионов твердого тела, то получится правильная пространственная решетка, называемая кристаллической.

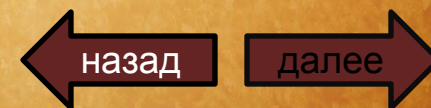


Абсолютная температура. Связь температуры со средней кинетической энергией частиц вещества. Связь давления идеального газа со средней кинетической энергией молекул.

Центральное место во всем учении о тепловых явлениях занимает понятие температура. Для ее измерения был создан прибор, называемый термометром. В его устройстве использовано свойство тел изменять объем при нагревании или охлаждении.

Понятие температуры тесно связано с понятием теплового равновесия. Тела, находящиеся в контакте друг с другом, могут обмениваться энергией. Энергия, передаваемая одним телом другому при тепловом контакте, *называется количеством теплоты*.

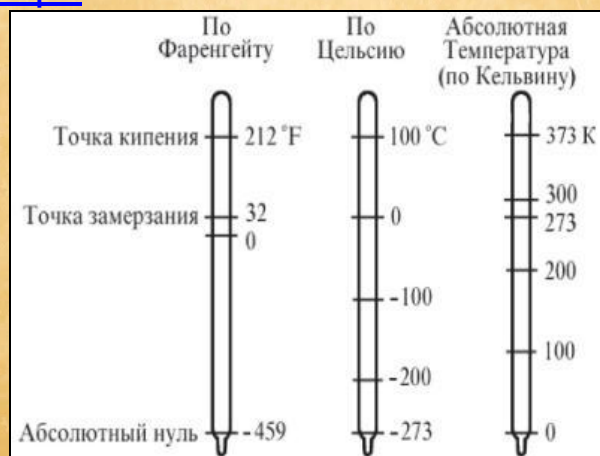
Тепловым равновесием называют такое состояние тел, при котором все макроскопические параметры сколь угодно долго остаются неизменными. Это означает, что в системе не меняются объем и давление, не происходит теплообмен, отсутствуют взаимные превращения газов, жидкостей, твердых тел и т. д. Температура состояние теплового равновесия системы тел: все тела системы, находящиеся в тепловом равновесии, имеют одну и ту же температуру. При одинаковых температурах двух тел между ними не происходит теплообмена. Если же температуры тел различны, то при установлении между ними теплового контакта будет происходить обмен энергией. При этом тело с большей температурой будет отдавать энергию телу с меньшей температурой. Разность температур тел указывает направление теплообмена между ними.



Не все в мире относительно. Так, существует абсолютный нуль температуры. Есть и абсолютная шкала температур. Предельную температуру, при которой давление идеального газа обращается в нуль при фиксированном объеме или при которой объем идеального газа стремится к нулю при неизменном давлении, называют абсолютным нулем температуры. Это самая низкая температура в природе.

Английский ученый [У. Кельвин](#) ввел абсолютную шкалу температур. Нулевая температура по абсолютной шкале (ее называют также шкалой Кельвина) соответствует абсолютному нулю, а каждая единица температуры по этой шкале равна градусу по шкале [Цельсия](#).

В международной практике наряду с абсолютной термодинамической шкалой и шкалой Цельсия широко используется шкала [Фаренгейта](#). В международной практике наряду с абсолютной термодинамической шкалой и шкалой Цельсия широко используется шкала Фаренгейта и реже шкала [Реомюра](#).



Средняя кинетическая энергия молекул газа при тепловом равновесии.

В состоянии теплового равновесия все газы имеют одинаковую температуру, не зависящую от рода газа. Для определения температуры выясним, какая физическая величина в молекулярно-кинетической теории обладает таким же свойством. Известно, что чем быстрее движутся молекулы, тем выше температура тела. При нагревании газа в замкнутом сосуде давление газа возрастает. Давление p прямо пропорционально средней кинетической энергии поступательного движения молекул:

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}$$

При тепловом равновесии, если давление газа данной массы и его объем фиксированы, средняя кинетическая энергия молекул газа должна иметь строго определенное значение, как и температура.

Можно положить, что при тепловом равновесии именно средние кинетические энергии молекул всех газов одинаковы. С помощью основного уравнения МКТ можно выразить кинетическую энергию через макроскопические параметры. Так как концентрация молекул газа

, то из $n = \frac{N}{V}$ в $p = \frac{2}{3} n \bar{E}$ что $\frac{pV}{N} = \frac{2}{3} \bar{E}$

Давление и объем измеряются непосредственно. Число молекул можно определить, зная массу газа m , постоянную Авогадро и молярную массу M .

Тогда $N = \frac{m}{M} N_A$ если кинетическая энергия действительно одна и та же величина для всех газов в состоянии теплового равновесия, то и величина $\frac{pV}{N}$ должна быть также одинаковой для всех газов.



Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
экса	Э	10^{18}	деци	д	10^{-1}
пета	П	10^{15}	санتي	с	10^{-2}
тера	Т	10^{12}	милли	м	10^{-3}
гига	Г	10^9	микро	мк	10^{-6}
мега	М	10^6	нано	н	10^{-9}
кило	к	10^3	пико	п	10^{-12}
гекто	г	10^2	фемто	ф	10^{-15}
дека	да	10^1	атто	а	10^{-18}

Скорость света в вакууме	$c=2,988 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Гравитационная постоянная	$G=6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Постоянная Авогадро	$N_A=6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k=1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Элементарный заряд	$e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнитная постоянная	$\mu_0=1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$
Постоянная Планка	$h=6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Масса покоя электрона	$m_e=9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Масса покоя протона	$m_p=1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя нейтрона	$m_n=1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$



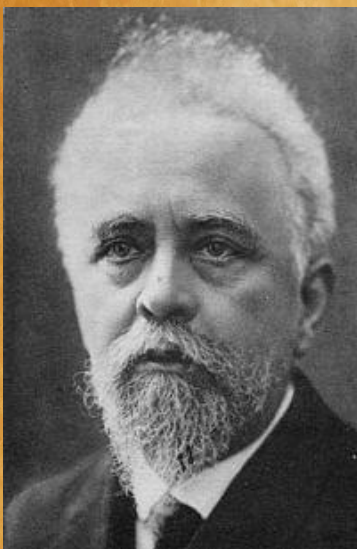


Френкель Яков Ильич (1894-1952) советский физик-теоретик. Внес значительный вклад в самые различные области физики. Я. И. Френкель автор современной теории жидкого состояния вещества. Им заложены основы теории ферромагнетизма. Широко известны работы Я. И. Френкеля по атмосферному электричеству и происхождению магнитного поля Земли. Первая количественная теория деления ядер урана создана Я. И. Френкелем.



Ломоносов Михаил Васильевич (1711-1765) великий русский ученый, энциклопедист, поэт и общественный деятель, основатель Московского университета, носящего его имя. Пушкин назвал М. В. Ломоносова «первым русским университетом». М. В. Ломоносову принадлежат выдающиеся труды по физике, химии, горному делу и металлургии. Он развил молекулярно-кинетическую теорию теплоты, в его работах предвосхищены законы сохранения массы и энергии. М. В. Ломоносов создал фундаментальные труды по истории русского народа, он является основоположником современной русской грамматики.





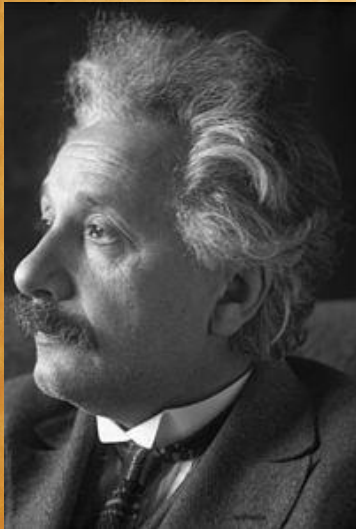
Перрен (Perrin) Жан Батист (30.9. 1870, Лилль, — 17.4.1942, Нью-Йорк), французский физик, член Парижской АН (1923). По окончании Высшей нормальной школы в Париже (1894) работал там же. С 1898 — в Парижском университете (профессор с 1910). В 1940, после капитуляции Франции, выехал в США. Исследовал природу катодных и рентгеновских лучей (1895—98) и доказал, что первые представляют собой поток заряженных частиц. Изучал электрокинетические явления и предложил прибор для исследования электрокосмоса (1904). Работы П. по изучению броуновского движения явились экспериментальным подтверждением теории Эйнштейна — Смолуховского; они позволили П. получить значение числа Авогадро хорошо согласующееся со значениями, полученными др. методами, и окончательно доказать реальность молекул. Установил бимолекулярную структуру тонких мыльных плёнок. Совместно с сыном Ф. Перреном исследовал явления флуоресценции. Был популяризатором науки, его книга "Атомы" (1913, русский перевод 1924) стала классической. Почётный член АН СССР (1929, член-корреспондент 1924). Нобелевская премия (1926).





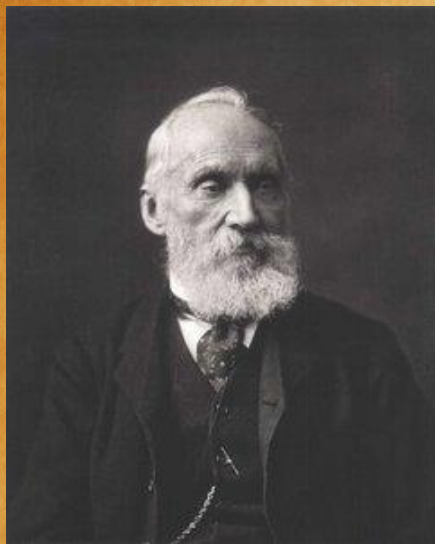
Броун Роберт (21.12.1773, Монтроз, -10.6.1858, Лондон), английский ботаник.

Морфолого-эмбриологические исследования Б. имели большое значение для построения естественной системы растений. Б. открыл зародышевый мешок в семязачатке, показал (1825), что семязачатки у хвойных и саговников не заключены в завязь, чем установил основное различие между покрытосеменными и голосеменными; в семязачатках хвойных открыл архегонии. Впервые правильно описал ядро в растительных клетках. Открыл в 1827 броуновское движение.



Альберт Эйнштейн (1879-1955). Физик-теоретик, один из создателей современной физики. В 1900 окончил Цюрихский политехникум. В 1902—1908 работал экспертом в федеральном патентном бюро в Берне. В это время им были созданы специальная теория относительности (СТО), квантовая теория фотоэффекта, теория броуновского движения — работы, благодаря которым Эйнштейн получил признание как ученый. В 1909—1911 — профессор Цюрихского университета, в 1911—1912 — Немецкого ун-та в Праге, в 1912—1914 — Цюрихского политехникума, в 1914—1933 — профессор Берлинского ун-та и директор Физического института. В период с 1907 по 1916 создал общую теорию относительности (ОТО), ставшую основным делом его жизни. В 1921 за заслуги в области теоретической физики, и особенно за открытие законов фотоэффекта, Эйнштейну была присуждена Нобелевская премия.





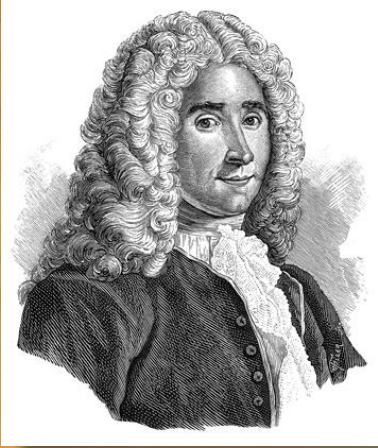
Уильям Томсон лорд Кельвин (26.6.1824, Белфаст, - 17.12.1907) английский физик, один из основателей термодинамики и кинетической теории газов, член Лондонского королевского общества (с 1851 года, в 1890-1895 годах президент). В 1834-1845 годах учился в университетах Глазго и Кембриджа. В 1845-1846 годах работал в Париже у А. В. Реньо; в 1846-1899 годах профессор университета в Глазго. В 1892 году за научные заслуги получил титул лорда Кельвина.



Даниэль Габриэль Фаренгейт (24.05.1686 - 16.09.1736) - немецкий физик. Родился в Данциге (ныне Гданьск). С 1707 года путешествовал по Германии, приобрел профессию изготовителя различных инструментов. В 1717 году переехал в Амстердам, где утвердился как мастер по изготовлению инструментов и приборов. Большую часть своей жизни прожил в Голландии.

Фаренгейт исследовал явление переохлаждения воды (1721) и зависимость температуры кипения жидкости от давления и содержания растворенных в ней солей. Сконструировал термометр, дающий возможность по данным точки кипения находить давление. Определял температуру смеси горячей и холодной воды. Усовершенствовал весовой ареометр, составил таблицы удельных весов тел (1724).





Реомюр Рене Антуан (28 февраля 1683 г. – 17 октября 1757 г.)

Научные труды Реомюра посвящены математике, физике, химической технологии, зоологии и ботанике. В 1730 г. Реомюр описал изобретённый им спиртовой термометр, шкала которого определялась точками кипения и замерзания воды. 1 градус Реомюра равен $1/80$ части температурного интервала между точками таяния льда (0°R) и кипения воды (80°R), т. е. $1^{\circ}\text{R} = 1.25^{\circ}\text{C}$, $1^{\circ}\text{C} = 0.8^{\circ}\text{R}$. Шкала Реомюра долгое время была распространена в Европе, но в настоящее время вышла из употребления. Опыты Реомюра с водно-спиртовыми смесями положили начало систематическим исследованиям растворов.



Андерс Цельсий (1701-1744), шведский астроном и физик. В 1733 году Цельсий обнаружил данные наблюдений северного сияния, полученных им самим и другими астрономами в период с 1716 по 1732 год. В 1733 году принимал участие в экспедиции, целью которой была проверка гипотезы Ньютона о том, что Земля сплюснута у полюсов. В 1742 году опубликовал работу с описанием стоградусной шкалы термометра, в которой температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении была принята за 0° , а температура таяния льда – за 100° . Позже шведский биолог Линней "перевернул" эту шкалу, приняв за 0° температуру таяния льда. Этой шкалой мы пользуемся до сих пор, называя ее шкалой Цельсия.



Задачи для самостоятельного решения

- Сколько молекул газа содержит сосуд объемом 1 л, если средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы $6 \cdot 10^{-21}$ Дж? Давление в сосуде $2 \cdot 10^5$ Па.
- Молекула массой 10^{-24} кг движется со средней квадратичной скоростью 400 м/с. Определите изменение концентрации молекул при изменении давления от 10^5 до $4 \cdot 10^4$ Па.
- Определите среднюю квадратичную скорость молекул гелия при температуре 100 °С
- Определите, во сколько раз средняя квадратичная скорость молекул водорода больше средней квадратичной скорости молекул кислорода, если энергии поступательного движения молекул равны.
- Во сколько раз изменится давление одноатомного газа в результате уменьшения его объема в 3 раза и увеличения средней кинетической энергии молекул в 2 раза?
- Во сколько раз средняя квадратичная скорость молекул водяного пара в летний день при температуре 30 °С больше, чем в зимний день при температуре -30 °С?



Практические задания

1. Определить среднюю кинетическую энергию и концентрацию молекул одноатомного газа при температуре 290 К и давлении 0,8 МПа.

[Решение](#)

2. При какой температуре средняя кинетическая энергия молекул одноатомного газа будет в 2 раза больше, чем при температуре -73 °С?

[Решение](#)

3. Из открытого стакана за время $t = 20$ сут испарилась вода массой $m = 200$ г. Сколько молекул испарилось за $\tau = 1$ сек?

[Решение](#)

4. Найти число молекул в 1 кг газа, средняя квадратичная скорость которых при абсолютной температуре равна $v = \sqrt{\bar{v}^2}$

[Решение](#)

5. При какой температуре средняя квадратичная скорость молекул азота равна 830 м/с?

[Решение](#)

6. Плотность кислорода при давлении 124 кПа 1,6 кг/м³. Найти число молекул в единице объема (концентрацию), среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул, среднюю квадратичную скорость молекул и температуру кислорода.

[Решение](#)



1. Определить среднюю кинетическую энергию и концентрацию молекул одноатомного газа при температуре 290 К и давлении 0,8 МПа.

Дано:

$$p = 0.8 \text{ МПа}$$

$$T = 290 \text{ К}$$

Найти $\bar{E}$; n ;

Решение.

Запишем формулу связывающую температуру тела со средней кинетической энергией его молекул:

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT$$

Подставив в формулу известные значения, получаем

$$\bar{E} = \frac{3}{2} 1,38 * 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} 290 \text{ К} \approx 6 * 10^{-21} \text{ Дж}$$

Для нахождения концентрации молекул одноатомного газа запишем уравнение идеального газа:

$$n = \frac{p}{kT}$$

Отсюда, $p = nkT$

$$n = \frac{0.8 * 10^6 \text{ Па}}{1.38 * 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} * 290 \text{ К}} = 2 * 10^{26} \text{ м}^{-3}$$



2. При какой температуре средняя кинетическая энергия молекул одноатомного газа будет в 2 раза больше, чем при температуре -73°C ?

Дано:

$$\bar{E}_2 = 2\bar{E}_1$$

$$T_1 = -73^{\circ}\text{C} = 200\text{K}$$

Найти T_2

Решение.

Запишем формулу связывающую температуру тела со средней кинетической энергией его молекул:

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT$$

Для первого случая (при $T_1 = -73^{\circ}\text{C}$)

$$\bar{E}_1 = \frac{3}{2} kT_1$$

Для второго случая (для T_2)

$$\bar{E}_2 = \frac{3}{2} kT_2$$

Если $\bar{E}_2 = 2\bar{E}_1$, то $\bar{E}_2 = 3kT_1$

$$3kT_1 = \frac{3}{2} kT_2$$

Тогда, $T_2 = 2T_1$

$$T_2 = 2 * 200\text{K} = 400\text{K}$$



3. Из открытого стакана за время $t = 20$ сут испарилась вода массой $m = 200$ г. Сколько молекул испарилось за τ ?

Дано:

$t = 20$ сут

$m = 200$ г

$\tau = 1$ сек

Найти

Решение.

$$N = \frac{m}{M} N_A$$

N – количество молекул воды в стакане

Здесь M – молярная масса воды, N_A – постоянная Авогадро.

Из пропорции $\frac{N_\tau}{N} = \frac{\tau}{t}$, следует, что за время τ испарилось

$$N_\tau = \frac{m N_A \tau}{M t}$$

$$N_\tau = 3,9 \cdot 10^{18} \text{ молекул}$$



4. Найти число молекул в 1 кг газа, средняя квадратичная скорость которых при абсолютной температуре равна

Дано:

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$T, \bar{v}$$

Найти N

Решение.

Запишем $m = Nm_0$ (количество вещества)

и
$$\frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} kT$$

выразим отсюда m_0

$$m_0 = \frac{3kT}{\bar{v}^2}$$

Подставим в
$$N = \frac{m}{m_0} = \frac{m \bar{v}^2}{3kT}$$

Т.к. $m = 1$, то
$$N = \frac{\bar{v}^2}{3kT}$$



5. При какой температуре средняя квадратичная скорость молекул азота равна 830 м/с?

Дано:

$$\mu = 28 * 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$\bar{v} = 830 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Найти t

Решение.

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3kt}{m}}$$

$\bar{v}$ где -средняя скорость движения частиц

Выразим t , получим

$$t = \frac{\mu v^2}{3K N_A}$$

Известно, $m = \frac{\mu}{N_A}$

$$\text{То } t = \frac{mv^2}{3k}$$

$$t = \frac{28 * 10^{-3} 830^2}{3 * 1.38 * 10^{-23} 6.022 * 10^{23}} = 773,7 \approx 774 \text{К}$$



6. Плотность кислорода при давлении 124 кПа 1,6 кг/м³. Найти число молекул в единице объема (концентрацию), среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул, среднюю квадратичную скорость молекул и температуру кислорода.

Дано:

$$\rho = 1,6 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$p = 124 \text{ кПа}$$

$$\mu = 2,9 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

Найти $\bar{\nu}$; $\bar{E}$
;

Решение.

1. Запишем уравнение Менделеева -

Клайперона $pV = \frac{m}{\mu} RT$

$$p = \frac{\rho}{\mu} RT$$

$$T = \frac{p\mu}{R\rho}$$

Отсюда $T = \frac{2,9 \cdot 10^{-2} 124 \cdot 10^3}{1,6 \cdot 8,31} = 270 \text{ К}$

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT \quad \bar{E}$$

2. , где средняя кинетическая энергия движения молекул. Подставим

$$\bar{E} = \frac{3}{2} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 270 = 5,5 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

3. Запишем выражение, показывающее

зависимость давления от $p = nkT \Rightarrow n = \frac{p}{kT}$ ции

мол $n = \frac{124 \cdot 10^3}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 270} = 3,3 \cdot 10^{25}$

$$\bar{E} = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$$

4. формула средней

энергии $\mu = m_0 N_A$

$$\bar{E} = \frac{\mu \bar{v}^2}{2N_A} \Rightarrow \bar{v} = \sqrt{\frac{2\bar{E}N_A}{\mu}}$$

Зная что получим

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5,5 \cdot 10^{-21} \cdot 6,022 \cdot 10^{23}}{2,9 \cdot 10^{-2}}} = 477,9 \approx 478 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

